

「理数融合授業」(サイエンス・イシューズ)の実践 —新学習指導要領「理数探究」への提案—

1. はじめに

本校は、SSH(スーパー・サイエンス・ハイスクール)の第1期指定を2005年度・第2期指定を2010年度、引き続き第3期指定を2015年度に受け、今年度はその5年目を迎えている。3期SSHでは、『共創力を備えた科学技術イノベーターを育成するためのカリキュラム開発』をテーマに、多分野融合研究において、自ら課題やプロジェクトを設定し、多様な他者を組織して、新たな研究領域を切り開いていく能力を持ったリーダーの育成を目指した。カリキュラム開発の主題である「サイエンス・イシューズ」では、理科と数学が教科横断型の共通課題で行う合同授業を積極的に設定し、生徒が協働して課題の解決を図る探究活動を行う。ここでは、科学的知識と数学的知識が融合的に学習でき、それぞれの概念をより一層深く理解できるとともに、現実の諸課題を科学的視点から捉えて考察することが可能になると考えた。この取り組みは、2022年度より新学習指導要領にて設定される「理数探究」に向けて先んじた開発である。

本校数学科と理科の教員は協働して2015年度から、公開研究会にて毎年授業公開(理数シンポジウム)を行ったり、日常の授業においてトピックごとに実践をしたりしてきた。2016年度の公開授業(物理と数学)については、『フェルマーの原理を扱う有効性についての考察—数学科を通じた科学概念の獲得—』(『奈良女子大学附属中等教育学校研究紀要』第57集、2019年)に、2017年度の公開授業(化学と数学)については、『化学と数学の融合授業—公開研究会授業記録—』(『同』第58集、2019年)にその詳細を掲載している。

本稿においては、筆者が実践してきたいくつかの融合授業を紹介し、同僚の教員らの前掲の実践と合わせ、協働授業の有効性を問うとともに「理数探究」の授業のあり方を模索する試みと位置づけて、今後の開発の方向性を探っていきたい。

2. 融合授業の実践

2-1 数理生物学の公開授業

■ 研究の目的・動機

理数連携授業として、生物学と数学が合同で開発できる教材・実験を考えていくことにした。一般に数理生物学は、これまで特に生態学や進化生物学、遺伝学といった分野で研究が進められてきた。数理モデルを用いて、現実にある生物的な諸課題を考察するにあたって、まずはその中でも「生態学」において大きな成果をあげているアプローチの、一端にふれられるような授業研究を行った。

本校の学校設定科目として、以前6年生で開講していた科目に「数理科学」がある。そこでは、数学の教員が「ゲームと確率」「生態系の数理とカオス」「飛行曲線のシミュレーション」「過去と未来を見通す(微分方程式)」「音波を解析する」といったテーマを扱い、主に数理的側面から自然科学を探究する授業を展開していた。それらのテーマの一つとして、生物の成長曲線(ロジスティック・カーブ)を理論的・関数的に扱ったものがあったが、あくまで現象のモデル化・シミュレーションの一つとしてコンピュータ上で計算させるにとどまっていた。

今回融合授業を開発していくに当たり、今までの展開よりもっと生物学の授業に近づくことを考え

た。思考実験ではなく、実際に実験を行い、数理生物学のモデル化が本当に自然現象を説明できているのかまで検証する作業を加えることで、具体的現象と抽象的概念の往還が可能になり、それが科学的探究の本質的な方法であろうと思われるからである。

■ 研究の方法

「数理科学」は数学の教員だけで通年授業をしてきたが、今回の授業研究では一連の授業に理科と数学の教員が交互に現れたり、同時に出て TT を行ったりといった方法をとっていきたいと考えた。そのことで、自然現象の解析には本来さまざまな分野からのアプローチ・協働が必要であることが生徒にも実感されるであろう。一つのテーマについて、実験もして数学的解釈も加え掘り下げていくため、単元の通常の授業よりもかなり時間を使って展開していくことになる。

なお、この実践では理系生物選択者の通常講座の授業をベースとして、そこに数学教員が割り込んでいくという方法をとった。自然現象を説明するツールとして数学を用いるという立場から、この方法が妥当なように考えられる。

『ゾウリムシの個体群における密度効果の数学的解析』授業案

高等学校「生物」に「個体群と生物群集」という単元がある。個体群における個体数の増加率は、個体群を取り囲む環境要因によって制限を受けてしまう。ここでよく知られているのが、成長曲線という個体群の成長を表すグラフである。これは、横軸に時間・縦軸に個体数をとったときの、個体群の成長のようすを時系列で表したものである。

この一連の授業では、ゾウリムシの個体数を実際にカウントすることにより、成長曲線をグラフ上にプロットする。一方、増加率と個体数の関係に着目させ、グラフを数式モデルで表現できないか考察する。そして、実際の個体群の増加の様子が、数学的解析により予測できるかどうか試みる。

クラス：5年理系生物 16名(男子6名、女子10名)

単元名：生物と環境 ～個体群と生物群集～

教材観：地球上に生息する様々な生物は、地球の物理的環境によって影響を受けている。また、それぞれの生物間にも多彩な関係性が存在している。この生物間の関係性が、地球の物理的環境にも影響を与えることがある。生徒がこの単元を学ぶことを通して、地球という閉じられた空間の中で、生物が生息するためには何が必要なのか、またどんな考え方が大切なのか、具体的に関係性を取り上げながら考えさせたい。

今回の教科横断型テーマでは大きく「自然科学リテラシー」が育成されることを目指し、教材として数学・科学の関わりが実感できるものの一つを取り上げ、テクノロジーの力を活用した探究を進めることを考えた。大学での学びにもつながっていくような内容を考え、探究活動を中心として展開することが特徴である。

身近な生態系や個体増殖のモデル化を行い、その変化を視覚化するとどうなるか探究する内容で、数学の大きな分野の一つである微分方程式の一端にも触れる。大学で学ぶ展開とは異なり数学的な解法の操作としてではなく、自然や社会現象を解析する手段・変化を捉える見方としての側面が実感でき、「未来を見通す」ことの興味深さに触れられる内容とした。このテーマは「ロジスティック・モデル」という、モデル化の考え方と関係する。

単元の指導計画：

個体群動態 (6 時間)	第 1 時	生物の成長曲線(生物学的意味)	2/15(月)
	第 2 時	成長曲線の数学的意味	2/16(火)
	第 3 時	個体数の計測のしかた(カウントの方法、実習)	2/17(水)
	第 4 時	条件の違いによる結果を予想し、一週間の実験計画を立てる(公開授業)	2/19(金)
	第 5 時	実験のセッティング	2/23(火)
	第 6 時	実験結果をもとにした数学的解析、ゾウリムシの成長曲線を実際に描く	2/29(月)

授業展開① 生物の成長曲線(生物学的意味)

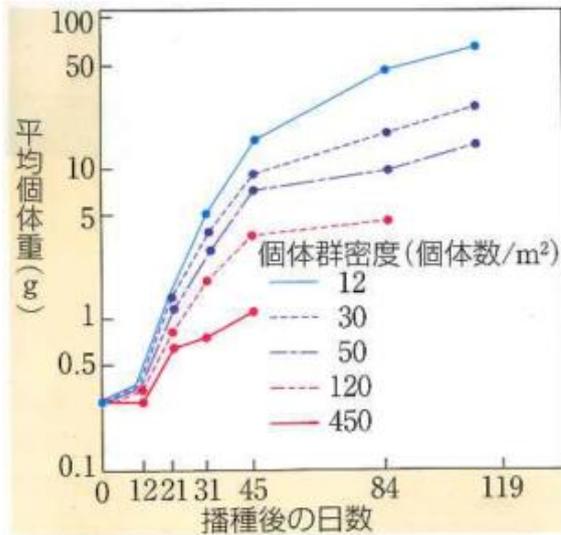
本時の目的

生物個体群の成長曲線について考え、動物においては環境収容力、植物においては最終収量一定の法則が成り立つことを理解させる。

	学習活動	指導上の留意点	評価の観点
	○予想される生徒の反応	☆教師の発問	
導入	<ul style="list-style-type: none"> ・スーパーで売っているカイワレ大根は、大根になるか考える 	<ul style="list-style-type: none"> ☆カイワレ大根を見せ、「カイワレ大根は大根になることができるか?」と問いかける 	植物の個体群としての成長について、積極的に考える【関】
展開 1	<ul style="list-style-type: none"> ・個体群の成長について考える ○そのパッケージのままだと、そのうち枯れる ○カイワレの芽は密集したままだと枯れてしまう ・密度が高いと育たない理由を考える ○隣の個体が邪魔で伸びなくなる ○光合成できないと成長が遅くなる ○無機塩類が足りなくなる ・カイワレ大根が成長するための最適密度を考える ○半分の密度に減らす ○一つ一つ植木鉢(ポット)に植える ○2~3 株ずつ植木鉢に植える ・大豆の例をもとに、個体群の密度と個体の平均質量の関係性を考える ○個体群密度が小さければ、1 個体の平均質量は大きくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ・カイワレが大根という「根」を作るかではなく、個体群が成長するかに注目させる ・芽が密集していることに注目させる ・資源(光量不足、養分不足、水の取り合い、根を這わせるための場所)の取り合いが生じることを理解させる ☆このカイワレ大根が、大根を作るまでに成長させるためには、このカイワレ大根の密度はどれくらいにしたらよいか? ・ダイズにおける、個体群密度と平均個体重の関係を示したグラフを提示し、定量的に理解させる ・個体群の時間に対する成長の仕方を 	予想される現象を、理由とともに表現できる【思】 実験条件(状況)を理解

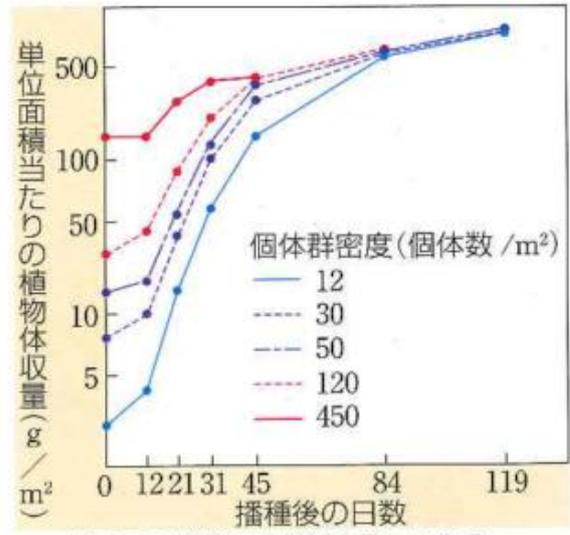
	<p>○個体群密度が3桁になるとすべてが最後まで成長しない</p> <ul style="list-style-type: none"> ・個体群の密度が高くなりすぎると、光の取り合い、場所の取り合いなど、環境要因の取り合いが生じ、個体の成長は遅くなることを理解する ・個体群としての成長の仕方について、個体群密度をもとに考える <p>○84日目と比べると、$12(\text{個体数}/\text{m}^2) \times 50(\text{g})$は、$30(\text{個体数}/\text{m}^2) \times 20(\text{g})$と同じ値になる</p> <p>○個体群密度によらず、単位面積当たりの植物体収量はほぼ等しくなることに気付く</p>	<p>表したグラフを『成長曲線』ということ伝える</p> <ul style="list-style-type: none"> ・個体群の高密度が及ぼす、個体群の成長への影響のことを『密度効果』ということ伝える <p>☆個体群密度と平均個体重のグラフから、個体群としての成長はどのように変化していると言えるか</p> <ul style="list-style-type: none"> ・具体的数値を使って考えさせる <p>・個体群密度と単位面積当たりの植物体収量の関係を示したグラフを、元のグラフを用いて書き込ませ、『最終収量一定の法則』を導かせる</p>	<p>し、実験結果を定量的に考察できる【思】</p> <p>グラフから新たな法則性を導き出すことができる【知】</p>
展開2	<ul style="list-style-type: none"> ・動物個体群の成長を考える <p>○ゾウリムシは分裂によって増殖する</p> <p>○動物は捕食者であるから、培地内の餌の量が減ったら増えなくなる(密度効果)</p> <p>○環境が悪くなると、密度が多すぎるとゾウリムシ同士がぶつかって、弱っていく</p> <ul style="list-style-type: none"> ・動物個体群にも密度効果が生じることに気付く ・ゾウリムシが増殖するときの傾きを、ゾウリムシが分裂で増殖することをもとにできるだけ正確に描く 	<p>☆ゾウリムシの培地を見せて、ゾウリムシは日ごとにどのように個体数をふやしていくか、成長曲線を書き込んでみよう</p> <ul style="list-style-type: none"> ・動物の成長曲線をイメージさせながら、考えさせる ・閉塞環境でのゾウリムシの成長曲線をイメージで描かせる ・餌の量や培養スペースによって最大個体数が決まってくることに気付かせ、『環境収容力』という言葉を教える ・グラフを正確に読み取らせる 	<p>生物の増殖を、よりの確に(数学の関数をイメージしながら)グラフとして描くことができる【思】</p>
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・曲線の形は何によって決まってくるのか 	<p>☆動物個体群の成長曲線は、どのような関数として表せるだろうか?</p>	

評価の観点：【関】…関心・意欲・態度、【思】…思考・判断・表現、【技】…観察・実験の技能
【知】…知識・理解（理科）



グラフの縦軸は対数目盛りである。

図2 ダイズ個体群における密度効果



グラフの縦軸は対数目盛りである。

図3 最終収量一定の法則

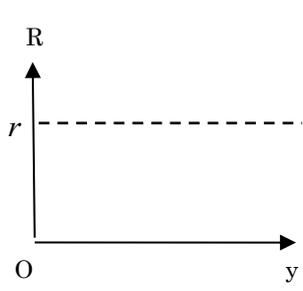
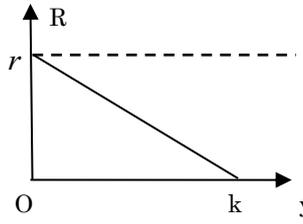
— 高等学校「生物」第一学習社 —

授業展開② 成長曲線の数学的意味

本時の目的

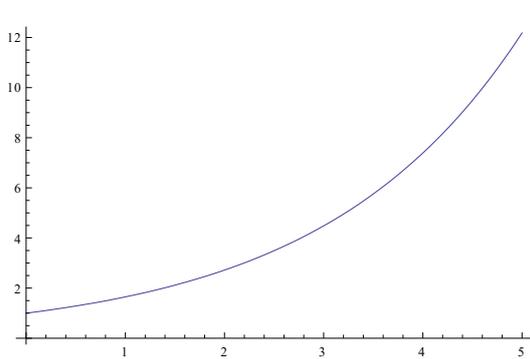
成長曲線を、数学的に関数で表すことができないか考えさせる。また、導出できた関数を、実際に生物学へ応用する方略を考える。

	学習活動	指導上の留意点	評価の観点
	○予想される生徒の反応	☆教師の発問	
導入	<p>生物の個体数の増加について、モデル化して考える。</p> <p>○今まで学んだ数学的知識から、おそらく $y(t)$ は t の指数関数になるだろうことが予想できる。</p>	<p>ゾウリムシが一定時間間隔に同期して分裂すると仮定する。</p> <p>☆時刻 t における個体数を $y(t)$ としたとき、y を t の式で表すことができないか。</p> <p>(関数は $f(t)$ などで表すことが多いが、y が t に伴って変わることがわかるように $y(t)$ としている。)</p>	<p>y と t の関係が、これまで学習したことのある数学的知識で表せないか考える【関】</p>
展開1	<p>○ Δy は現在の個体数 y に比例するのではないか。また、Δt にも比例するのではないか。</p> <p>○個体数の増加量が、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在の個体数 y ・ Δt (時間) <p>の両方に依存することが納得できる。</p> <p>この段階では、増加率すなわち比例定数 ($R =$) r を一定と考えている。</p>	<p>微小時間 Δt における個体数の増加 Δy は、$\Delta y = ry\Delta t$ と表され、</p> $\frac{\Delta y}{\Delta t} = ry$ <p>となり、微分の定義から</p> $\frac{dy}{dt} = ry$ <p>と考えられる。このように未知の関数 y とその導関数 $\frac{dy}{dt}$ を含む方程式を、微分方程式という。また、微分方程式を満たす関数 $y(t)$ を t の式で表すことを「微分方程式を解く」という。</p>	<p>数量の関係を、等式で表すことができる</p> <p>【表】</p> <p>微分方程式の解がベクトル場で表され、定数により変化することがわかる【数】</p>

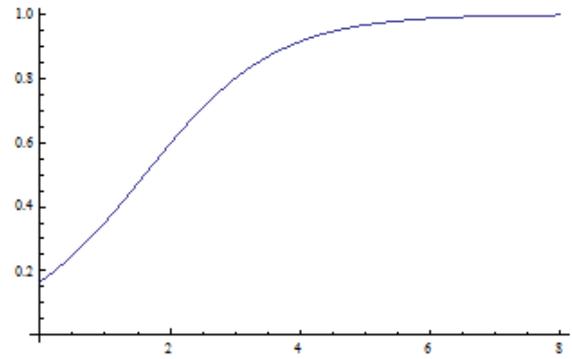
	 <p>A coordinate system with a vertical axis labeled 'R' and a horizontal axis labeled 'y'. The origin is labeled 'O'. A horizontal dashed line is drawn at a value 'r' on the R-axis.</p>	<p>(ただし、微分方程式を解くプロセスは説明しない)</p> $\frac{dy}{dt} = ry \text{ から } y(t) = ae^{rt} \text{ (指数関数)}$ <p>関数) が導けることはこちらから紹介し、予想にかなった式になることを言う。 (ベクトル場の表示、解のグラフをGeoGebra で示す)</p>	<p>微分方程式と解曲線の対応が理解できる</p> <p>【知】</p>
<p>展開 2</p>	<p>しかしこれでは、個体数が限りなく増えていってしまう。前時に学んだS字型成長曲線を、関数として実現することはできないか。</p> <p>○増加率 r を一定としたところに問題があるだろう。現実には、食糧不足や環境悪化などのため、r は一定でない。</p> <p>○個体数が増えるほど、R は減少するだろう(傾きが負の一次関数)。 R を $y(t)$ の式で表す。</p> <p>○反比例を考える者もいるかもしれない。</p> <p>○ $\frac{dy}{dt}$ (接線の傾き)が t の2次関数(上に凸)になると考える者もいるかもしれない。その場合は、横軸が t でなく y なら妥当である。</p>  <p>A coordinate system with a vertical axis labeled 'R' and a horizontal axis labeled 'y'. The origin is labeled 'O'. A solid line starts at a value 'r' on the R-axis and slopes downward to meet the y-axis at a value 'k'. A horizontal dashed line is also drawn at R=r.</p> <p>○ $R = r - \frac{r}{k}y = r\left(1 - \frac{y}{k}\right)$</p> <p>○ S字型のカーブが関数で表現できたことに感動する。</p>	<p>☆増加率が個体数によって変化するモデルを考える。できるだけ単純な変化としてまずはとらえよう。</p> <p>☆増加率 R が個体数 $y(t)$ によって変化する場合、R と $y(t)$ の関係としてどのようなものが考えられるか。</p> <p>☆ R を y の一次関数で表してみよう。</p> <p>このモデルは、個体数が小さければ R はほぼ r だが、個体数が大きくなるにつれて R は減少し、$y(t)=k$ のときに $R=0$ となるモデルである。</p> <p>個体数の変化のモデルを、微分方程式で表す。 $\frac{dy}{dt} = r\left(1 - \frac{y}{k}\right)y$ (数理生物学者ヴェルハーストのモデル)</p> <p>この微分方程式を解くと、 $y(t) = \frac{k}{1 + \left(\frac{k}{a} - 1\right)e^{-rt}}$ となることを言う。 (ベクトル場の表示、解のグラフをGeoGebra で示す)</p> <p>a は y の初期値 k は y の環境収容力 r は $t=0$ のときの増加率</p>	<p>数量の関係を、関数で表すことができる</p> <p>【表】</p> <p>微分方程式と解曲線の対応が理解できる</p> <p>【知】</p> <p>微分方程式の解がベクトル場で表され、定数により変化することがわかる 【数】</p>

まとめ	<p>S字型のカーブを、論理的なモデル化によって関数に近似することができた。</p> <p>○どの定数をどう変えると、カーブの形にどう影響するのか、その関係に着目する。</p>	<p>これらのカーブには多くの任意定数が含まれている。これらの定数を変化させることによってカーブの形も変化するだろう。</p> <p>(定数を変化させて解いた微分方程式の解のグラフを複数示す)</p> <p>これから実際にゾウリムシをさまざまな条件のもとで培養し、個体数をカウントしていく実験を、長期にわたって行い、成長曲線のデータを集めることを予告する。</p>	<p>生物的な条件が定数に影響し、グラフの形状が変化することを予測できる【数】</p>
-----	--	--	---

評価の観点(数学) : 【関】…関心・意欲・態度、【数】…数学的な見方考え方、【表】…数学的な技能
【知】…知識・理解 (数学)



指数関数のグラフ



ロジスティック・カーブ
(成長曲線)

授業展開③ 個体数の計測の仕方

本時の目的

実際にゾウリムシの成長曲線を描こうとした時、どのような個体数のカウント法があるのか、その方法を考えさせる。また、環境条件を1つだけ変化させるためには、無菌操作やインキュベーターが必要になることを理解させる。

	学習活動	指導上の留意点	評価の観点
導入	<p>○予想される生徒の反応</p> <p>○個体数が多すぎるとき、すべてカウントするのは難しいことに気が付く</p>	<p>☆教師の発問</p> <p>☆ゾウリムシの培養液を見せ、このフラスコ内のゾウリムシの個体数を知るためには、どのようにカウントしたらいいでしょうか</p>	<p>個体群の個体数のカウント法を考えることができる【関】</p>

<p>展 開 1</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・動物の総数を正確にカウントするためのポイントを考える ○ゾウリムシは実態顕微鏡で見ないと数えられない ○ヒトが正確に動物の数を数えるには限界がある ○培養液の一部をとって、ゾウリムシの数を数え、溶液の全量に換算すればいい(標本調査) ○培養液を一部とるとき、培養液を均一にしていないと条件が変わってしまう ・標本調査における基本的な操作方法を学ぶ ・複数回繰り返す操作において、回数ごとの誤差が少なくなるようにすることを学ぶ ・マイクロピペットの使い方を学ぶ ・動く生物をカウントできる数には限界があることを知る 	<ul style="list-style-type: none"> ・標本調査をするために重要な点が何か考えさせる ・標本調査の操作法の一般例を示し、生徒に体験させる ☆標本調査では、3~5回同じ操作を繰り返すことが一般的 ☆総数が多すぎる場合、できるだけ1度に採取する培養液の量を減らしていく(しかし、限界はある) ☆採取した培養液を複数のドロップに分けてカウントし、最後に合計数を求める ☆常に同じ量の培養液を採集して個体数をカウントする必要がある → 個体数が多すぎて数えられないときは、その採取した培養液から一部を取り出してカウントする 	<p>個体数のカウント法を自ら想像し、その後体験することで、標本調査の基本を理解することができる【知】</p>
<p>展 開 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ゾウリムシの成長曲線を描く(培養する)ための操作ポイントを考える ○成長曲線を描くためには、一定の環境条件下で培養しないと、成長具合が変化してしまうのでは ○カウントのためには培養液を一部取り出すので、その時ゾウリムシを傷つけないようにする ○ゾウリムシの培養液に、ゾウリムシの増殖を抑えるようなものが混入しないようにする ○ゾウリムシはそもそもどうやって培 	<ul style="list-style-type: none"> ☆ゾウリムシの成長曲線を描くためには、ゾウリムシの個体数をカウントしながら培養しなくてはいけない。この時の注意点は何か 	

	<p>養しているのか?</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ゾウリムシの培養条件を知る <p>○エサは 1 種類なら、カウントするときに別の菌が入ってしまうと、エサが増えることになる?</p> <p>○ゾウリムシの成長には、何度くらいに保つのが良いのか?</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エサを 1 種類に保つためには、無菌操作が必要なことを知る ・無菌操作を学ぶ ・菌が侵入する侵入口を考え、どこを滅菌する必要があるか考える 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゾウリムシの培養方法を教える <p>☆培養液の中には餌として 1 種類のバクテリアを入れる</p> <p>☆温度を一定に保つため、インキュベーターの中に入れて培養する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・無菌操作をしないと、培養液の環境条件が変化してしまう(コンタミすること)に気が付かせる <ul style="list-style-type: none"> ・無菌操作の方法を教える <p>☆クリーンベンチ内で、フラスコの口を加熱滅菌することで、フラスコ内に侵入する菌をできるだけ減らす</p> <p>☆フラスコの口に手をあてない</p>	<p>無菌操作の重要性を理解することができる</p> <p>【知】</p>
まとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・標本調査と無菌操作の重要性を確認する ・ゾウリムシの培養をイメージできるようにする 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゾウリムシを植え継いでから、毎日カウントしてデータをとる操作をイメージさせる 	<p>実験の流れをイメージすることができる 【知】</p>

評価の観点：【関】…関心・意欲・態度、【思】…思考・判断・表現、【技】…観察・実験の技能
【知】…知識・理解（理科）

授業展開④ 条件の違いによる結果予想(仮説設定)と実験計画の立案（公開授業）

数式処理ソフト(GeoGebra)で成長曲線を描き、成長曲線の形体変化とパラメーターの関係を理解させる。現実のパラメーターの範囲を想定し、実際に実験値と予測値ができるだけ等しくなる条件を考える。

授業展開⑤ 実験準備と実験開始

自分たちの仮説に必要な環境条件を整え、ゾウリムシの培養をスタートさせる。
その後、約 1 週間放課後に毎日カウントする。

授業展開⑥ 実験結果をもとにした数学的解析

実験結果を持ちよって、グラフ上にプロットする。関数で近似できたか確かめる。

公開授業 条件の違いによる結果予想(仮説設定)と実験計画の立案

本時の目的

数式処理ソフト(GeoGebra)で成長曲線を描き、成長曲線の形体変化とパラメーターの関係を理解させる。

現実のパラメーターの範囲を想定し、実際に実験値と予測値ができるだけ等しくなる条件を考える。

	学習活動 ○予想される生徒の反応	指導上の留意点 ☆教師の発問	評価の観点
導入	<ul style="list-style-type: none"> 成長曲線を思い出す $y(t) = \frac{k}{1 + \left(\frac{k}{a} - 1\right)e^{-rt}}$	<ul style="list-style-type: none"> 教師が予備実験で得た「ゾウリムシの成長曲線(実測値をエクセルでグラフ化)」を生徒に示し、成長曲線の特徴を復習させる 	成長曲線の特徴を説明できる【知】
展開1	<ul style="list-style-type: none"> 成長曲線の3つのパラメーターを思い出す ○aはyの初期値 ○kはyの環境収容力 ○rはt=0のときの増加率 ・iPad miniのGeoGebraを用い、パラメーターの意味を実感する ・aとkとrの関係性について書き出す ○aの値がkに近ければすぐにグラフは増加しなくなる ○aの値が小さすぎると、最大個体数に至るまでに時間がかかる ○aの値が小さくても、rが大きければ最大個体数に至るまでの時間は短縮できる ○kの値が大きければ、最大個体数に至るまでに時間がかかる 	<ul style="list-style-type: none"> ☆関数の3つのパラメーターは何を意味していましたか? ・一人1台分のiPad miniすべてに、GeoGebraと成長曲線の関数を入れておく ☆グラフのパラメーターを動かして、それぞれの関係性について気が付いたことを書き出してみよう ・パラメーターを自由に動かし、グラフの形態変化を確認させることで、パラメーターがどんな環境要因によって変化するのか考えさせる 	<p>数理生物学的に導いた成長曲線を説明できる【知】</p> <p>GeoGebraを動かして、変化の動きを探索できる【関】</p> <p>1つのパラメーターを動かして、それに伴う2つのパラメーターの動きを見つけ出し、表現できる【思】【数】</p>
展開2	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 20px; padding: 10px;"> <p>課題1</p> <p>ゾウリムシを植え継いだ後、ゾウリムシの総個体数が35,000cellsに早く達するための培養条件を提案しなさい。</p> <p>ただし予備実験の培養条件は以下の通りである</p> <p>植え継いだ時の総個体数(初期値 a)は、1,600cells</p> <p>増加しなくなった時の総個体数(環境収容力 k)は、35,000cells</p> <p>植え継いでから最大個体数に至るまでの日数(t)は、8日間</p> <p>培養液の総量は、1×レタス培養液 200mL</p> <p>培養温度は、28C°</p> </div>		

	<ul style="list-style-type: none"> ・課題について考える ○予備実験の結果に近いグラフを GeoGebra で描こうとする ○パラメーターを動かして、課題を満たす条件を探す ○グラフの傾きを大きくする ○環境収容力(k)を大きくする ○初期値(a)を増やす 	<ul style="list-style-type: none"> ・グループで課題に取り組みさせる ・適宜生徒へアドバイスをする 	<p>実験の結果を数学的に考察し、適切なパラメーターを決定できる【思】</p> <p>【数】</p>
<p>展 開 3</p>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>課題 2</p> <p>課題 1 を満たす培養条件(仮説)を、検証するための方法を立案しなさい</p> </div>		
<ul style="list-style-type: none"> ・関数のパラメーターと環境要因との対応を考える ○初期値(a)を大きくするためには、植え継ぐときのゾウリムシの総個体数を増やす ○環境収容力(k) を大きくするためには、培養液濃度(餌濃度)を高める、もしくは、バクテリア培養容器(物理的環境)を大きくする。 ○増加率(r)を大きくするためには、ゾウリムシの分裂速度を上げる ・環境要因を設定したら、その環境要因を実際に再現するための実験条件を具体的に考える ○a を大きくするためには、高濃度のゾウリムシを事前に用意しておく必要がある ○a を大きくするためには、同じ密度ではあるが培養液の量を多くする必要がある ○k が大きくなるようにするためには、1) 物理的環境サイズ(培養器の大きさ)を大きくする、もしくは、2) 栄養条件を良くする(培養液の濃度を高める、餌をより多く与える) ○r の値を大きくするためには、培養温度を上げる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゾウリムシの培養方法を思い出させ、グラフと実験を対応させるようにする ・仮説のグラフに近い結果になるような培養方法を立案させるために、具体的な数値(温度、濃度の倍率、個体数)を考えさせる 	<p>パラメーターを環境要因に変換することができる【思】</p> <p>設定した環境条件を実際の実験へと変換することができる【技】</p>	

まとめ	<ul style="list-style-type: none"> ・実験計画をまとめる ○植え継ぎに必要なゾウリムシの総個体数 ○培養液の量と濃度 ○培養するときの温度 ○植え継ぎに必要な器具類と機器 	<p>☆事前準備に必要な情報は必ず書き込むようにしよう</p>	
-----	---	---------------------------------	--

評価の観点：【関】…関心・意欲・態度、【思】…思考・判断・表現、【技】…観察・実験の技能
【知】…知識・理解（理科）

評価の観点：【関】…関心・意欲・態度、【数】…数学的な見方や考え方、【表】…数学的な技能
【知】…知識・理解（数学）

2-2 波動と数学の協働授業

■ 研究の目的・方法

物理学と数学が合同で開発できる教材・実験も考えている。物理学においては他の理科の分野にもましてモデル化や関数的な解析との親和性があり、微積分とも関わりが大きいので、多くの場面で融合授業へのアプローチの可能性があると考えられる。現実にある物理的な諸課題を考察するにあたり、今回は「波動」において重要となる三角関数の式・合成に関する授業研究を行った。

過去に「数理科学」のテーマの一つとして、波動を理論的・関数的に扱いフーリエ変換の応用例まで扱うものもあったが、そこでは現象のモデル化の一つとして計算させるにとどまっており、今回の授業開発ではさらに物理学の授業に近づくことを考えた。

理科と数学の教員が同時に出て TT を行う方法を取り、この実践でも理系物理選択者の通常講座の授業をベースとして、そこに数学教員が割り込んでいく方法をとった。今回の物理実験はシミュレーションであり、実際に細かい計測を行ったりするわけではないので、さほど大きく時間を割く内容にはなっていない。融合授業が何か特別なことと考えられることなく、自然に通常授業に取り込めたことが、理想的であったと感じている。

『音波の数学的解析』授業案

高等学校「物理基礎」の「波」という単元、「音と振動」の節では、音の疎密波を正弦波に表現しなおすことで音の3要素「音の大きさ」「音程」「音色」が音波において物理的には何に由来するのかを実験によって確認する。

ところが、現行の指導要領では波の定式化、すなわち $y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ のような三角関数による表現では導入されない。正弦曲線はあくまで波のイメージとして表され、音の3要素もオシロスコープ上での波の形を観察することで「振幅」「振動数」「波形」に何となく対応していることがわかる。しかし、今回は音波の式を作って実際に鳴らしてみること、音がいかに数式で正確に表現できるかを体験させたい。

また、この授業では、さまざまな波の重ね合わせ $y = y_1 + y_2$ をコンピュータ上で実際にグラフ化することにより、波形の変化を確認するとともに数学的な説明をそこに加えることを試みる。

クラス：5年理系物理 45名(男子26名、女子19名)

単元名：波動 ～音と振動～

教材観：音と振動の単元では、気柱の共鳴・弦の振動・音波の性質などを扱っている。波動実験器などを用いて、固定端と自由端での反射の現象を観察と波形の作図を通して理解したり、気柱共鳴実験・弦の振動実験や2つの音叉を用いた実験を行ったりすることにより、反射波の重ね合わせにより媒質内に定常波が現れることや、固有振動・共振・共鳴・うなりなどを扱う。合成波の振動の形をコンピュータやオシロスコープで調べたり、波の重ね合わせを作図したりして、音波に関する考察を深めることができる。

今回もテクノロジーの力を活用した探究活動を中心として進めることを考えた。波動の数式化を行い、関数をグラフ化するとどうなるかを探究する内容であるが、数学的な操作としてだけではなく、自然現象を解析する手段としての側面が実感でき、「さまざまな音波を創造する」ことの興味深さに触れられる内容とした。

単元の指導計画：

「音と振動」 (5時間)	第1時	【導入】超音波を用いた実験	11/1(木)
	第2時	音の三要素と物体固有の振動(弦)	11/6(火)
	第3時	気柱の固有振動	11/7(水)
	第4時	うなり1(理数融合授業)	11/13(火)
	第5時	うなり2(ガムラン音楽とうなり) (建物の騒音とうなり)	11/14(水)

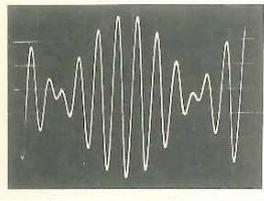
理数融合授業 音の3要素・波の重ね合わせによる音波の変化と波の創造

本時の目的

関数グラフソフト(Grapes)で音波を表す関数を描き、音の変化と関数の式の間関係を理解させる。

現実の音やうなりを想定し、実際に数式と聞こえる音の予測が合致する条件を考える。

	学習活動	指導上の留意点	評価の観点
	○予想される生徒の反応	☆教師の発問	
導入	・共鳴やうなりについて、2本の音叉を用いて復習する	・教師が2本の音叉を使って演示実験をする ・振動数が等しい場合、音叉は共鳴し、おもりをつけることで振動数を微妙に変えた2本の音叉を鳴らすとうなりが発生することを示す	共鳴・うなりの発生を説明できる【知】

<p>展開 1</p>	<p>・音叉から発生する音をスピーカーから拾い、コンピュータに接続してオシロスコープにより波形を投影する</p>	<p>☆音はどのような波形を描きますか？ また、うなりの波形にはどのような特徴がありますか？</p> 	<p>音波を表す波形の性質を説明できる【知】</p>
<p>展開 2</p>	<p>・音波の定式化を行う ○音波の関数 $y = \sin 2\pi ft$ の周波数 f を変化させることで、音の高低が変わる ○ f が増加すると音は高くなり、f が減少すると音は低くなる ○音の高さの感覚と周波数の関係は対数関係をなしている</p>	<p>・プリント教材により、音が時間と周波数による三角関数で表されることを説明する ☆音程と周波数が対数関係をなすことから、いろいろな音程に対応する周波数がいくらか考えてみよう</p>	<p>音の高低は空気の振動の速さに関係し、周波数から音波の式が導けることを説明できる【関】</p>
<p>展開 3</p>	<p>・2つの波動を合成することを考える ○三角関数の「和→積」公式を用いて波動の式を積の形に変形する $\begin{aligned} \text{○ } y_1 + y_2 &= \frac{1}{4} \sin 25\pi t + \frac{1}{4} \sin 23\pi t \\ &= \frac{1}{2} \sin 24\pi t \cos \pi t \end{aligned}$ ○うなりを投影したオシロスコープとの対応を考える</p>	<p>・波動の合成パターンを考える ☆位相が同じで周波数の異なる波を合成することを考える ☆合成した式を積の形に表せることを思い出そう ・周波数が大きいほうの三角関数は音程を、周波数が小さいほうの三角関数は振幅(音の強さ)を表す</p>	<p>三角関数を合成することによって、それに伴う2つの振動数の動きを見つけ出し、表現できる【思】【数】</p>
	<p>課題1 ・いろいろな波動の合成を行う ○ Grapes により、各自コンピュータ上で種々の三角関数を合成したグラフを描きスケッチすることから、その特徴をとらえる ○合成する三角関数の組み合わせによって、グラフの形のどの部分が変わるかを観察する</p>	<p>・各自で課題に取り組ませる ☆①位相が異なり周期の等しい三角関数 ②位相が同じで周期の異なる三角関数 ③位相も周期も異なる三角関数の合成を画面上で行ってみよう ・①1つの三角関数にまとめられ、振幅が大きくなる ②2つの三角関数の積に変形できる(うなりに関係する) ③乱れた波形が繰り返される(音色に対応する) ・適宜生徒へアドバイスをする(TT)</p>	<p>実験の結果を数学的に考察し、三角関数の合成が波形にどう影響するか説明できる【思】【数】 実験の結果を物理的に考察し、波形と音の変化との対応をイメージできる【思】【技】</p>

<p>展開 4</p>	<p>課題 2</p> <ul style="list-style-type: none"> 三角関数の式を入力し、対応する音を聴く ○ Grapes のスクリプト機能を使って音を作り出力する 関数のパラメーターと実際に聞こえる音との対応を考える ○ 音のピッチと周波数の関係は対数の関係になっている ○ 2 つの三角関数を合成すると、音にどのような影響が現れるかを検証する ○ 音の強弱が周期的に変化し、うなりが観測できる ○ 種々の三角関数の式を入力し、コンピュータ上で音が創造できることを体験する 	<ul style="list-style-type: none"> 各自で課題に取り組ませる スクリプトのデータは予めフォルダ内に用意しておくが、簡単な入力プログラムなので各自で自由に入力もできる 適宜生徒へアドバイスをする(TT) ☆ 周波数を変えていろいろな音程の音を作ってみよう ☆ 音程と周波数にはどのような対応関係がありますか ☆ 周波数が微妙に異なる 2 つの三角関数の和(合成)の式を入力し、対応する音を聴いてみよう 音叉のうなりの実験と関連づけ、関数のグラフと物理現象との対応が理解できるようにする 音の 3 要素(強弱・音程・音色)のそれぞれが、入力する関数のどの部分に対応するのかを探究させ、音の合成によるうなりの現象も含め、あらゆる音が実際に作成できることを知らせる 	<p>音程を三角関数の式から想定することができる【思】</p> <p>設定した条件を実験の実験へと変換することができる【技】</p>
<p>まとめ</p>	<ul style="list-style-type: none"> 実験結果をまとめる ○ 三角関数の振幅は音の強弱に関係する ○ 振動数は音程に関係する ○ 三角関数の合成はうなりに関係する ○ 複雑な波形は音色に関係する(これは実験未了である) 	<ul style="list-style-type: none"> 音は三角関数と密接な関係があることがわかる ☆ 音楽の分野でどのように利用されているか考えよう 	

評価の観点：【関】…関心・意欲・態度、【思】…思考・判断・表現、【技】…観察・実験の技能

【知】…知識・理解（理科）

評価の観点：【関】…関心・意欲・態度、【数】…数学的な見方や考え方、【表】…数学的な技能

【知】…知識・理解（数学）

■ 授業評価

この授業後、参加者 42 名に対してアンケートを実施した。分析結果から、仮説の有用性が示され、理科・数学科の知識を往還させることで双方の現象理解が一層深まったことが期待される。

【アンケート結果】

[質問 1] 「うなり」をテーマとした理科と数学を融合した授業は、学習に役立ちますか？(理由も)

[質問 1 の回答] 学習に役立つ(41 名)、役立たない(1 名)

【複数名が回答した理由】 ○は肯定的、×は否定的意見

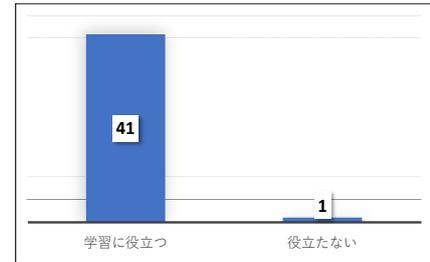
○数学で三角関数の合成を学習した時は、何に使うかイメージしにくかったが、実際の現象と結びついていることが理解できた(18 名)

○うなりの波形の振幅変化の理由を数学的に解釈できた(12 名)

○数学で学んだ知識を理科で活用できることがすごくいいと感じるし、数学・理科のそれぞれの理解がとても深まった(7 名)

○数学は抽象的で物理は数学に比べ具体的な学問のイメージだが、結びつけたことで、数学を具体化、物理を抽象化できた(2 名)

×難しい(1 名)



[質問 2] このような理科と数学の融合授業は教育的意義が高いと感じますか？(理由も)

[質問 2 の回答] 教育的意義が高い(40 名)、高くない(2 名)

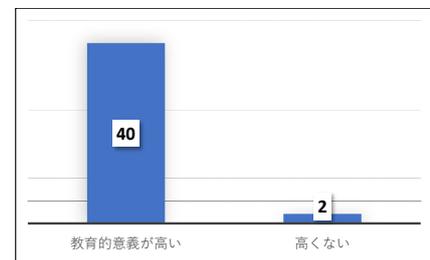
【複数名が回答した理由】 ○は肯定的、×は否定的意見

○理科と数学が融合することによって、各教科の内容理解が一層深まる(19 名)

○今の時代に求められる多分野融合の視点育成につながる(3 名)

○興味を持てるようになり、印象にも残りやすい(3 名)

×難しい(1 名)



2-3 細胞の観察と数学の協働授業

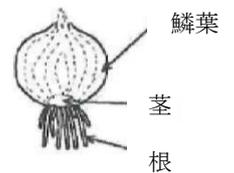
■ 研究の目的・方法

高等学校「生物基礎」では、生物の多様性と共通性の単元において、細胞の構造を学ぶ。細胞の大きさを具体的に知るために、実際に多くの細胞を顕微鏡で観察し、その特徴について検討する実験はよく行われる。同じ個体を構成している細胞でも、さまざまな種類が存在するのが多細胞生物の細胞の特徴である。しかし、それに対して核の大きさはあまり変わらないのが一般的である。はたしてこれが事実であるのか、生徒に仮説を立てさせ、実際に測定させ、比較させることを考えた。そして、より正確に比較するためにはどうするのか、数学的要素(統計学の考え方)を用いたいと考えた。

この実践でも、理科と数学の教員が同時に出て TT を行う方法を取り、理系生物選択者の通常講座の授業をベースとして、そこに数学教員が割り込んでいく方法をとった。1・2回の授業で収まる内容で、ここでは指導案ではなく授業を進めるハンドアウトを示しておく。

観察 細胞の大きさと核の大きさの測定

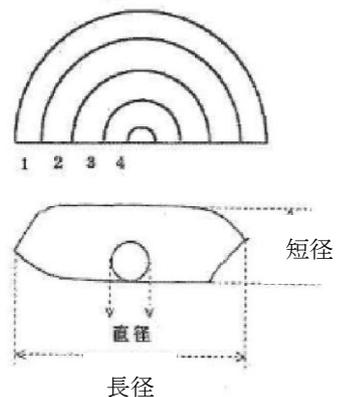
【目的】タマネギの鱗葉の細胞や核の大きさを測定する作業を通して、タマネギの成長のしかたについて考える。(※タマネギの食用にする白い部分を鱗葉という)



【仮説】：タマネギの鱗葉は_____大きくなる。
 また、細胞の核を鱗葉の内側と外側で比べると_____。
 そう考えたのは_____からである。

【方法】

1. 鱗葉の外側から 1,2,3,4 とし、それぞれ班内で分担を決める。中央付近に 5 mm 四方の切れ込みを入れ、その表皮片をはぎ取り、酢酸オルセイン液で染色する。
2. 自分の分担の部分で適当な 4 つの細胞を選び、それぞれについて長径、短径、核の直径をマイクロメーターで測定し、その平均を計算する。
3. 各自が計算したデータを班内で交換し、それぞれ結果を記入する。



【結果】

1. 接眼マイクロメーターの 1 目盛りの長さ (小数第 1 位まで)

接眼レンズの倍率	対物レンズの倍率	総合倍率	接眼マイクロメーターの目盛り数	対物マイクロメーターの目盛り数	接眼マイクロメーターの 1 目盛りの長さ
倍	倍	倍			μm
倍	倍	倍			μm

2. タマネギの鱗葉の細胞と核の大きさ

測定場所に○をつける… (1 2 3 4)

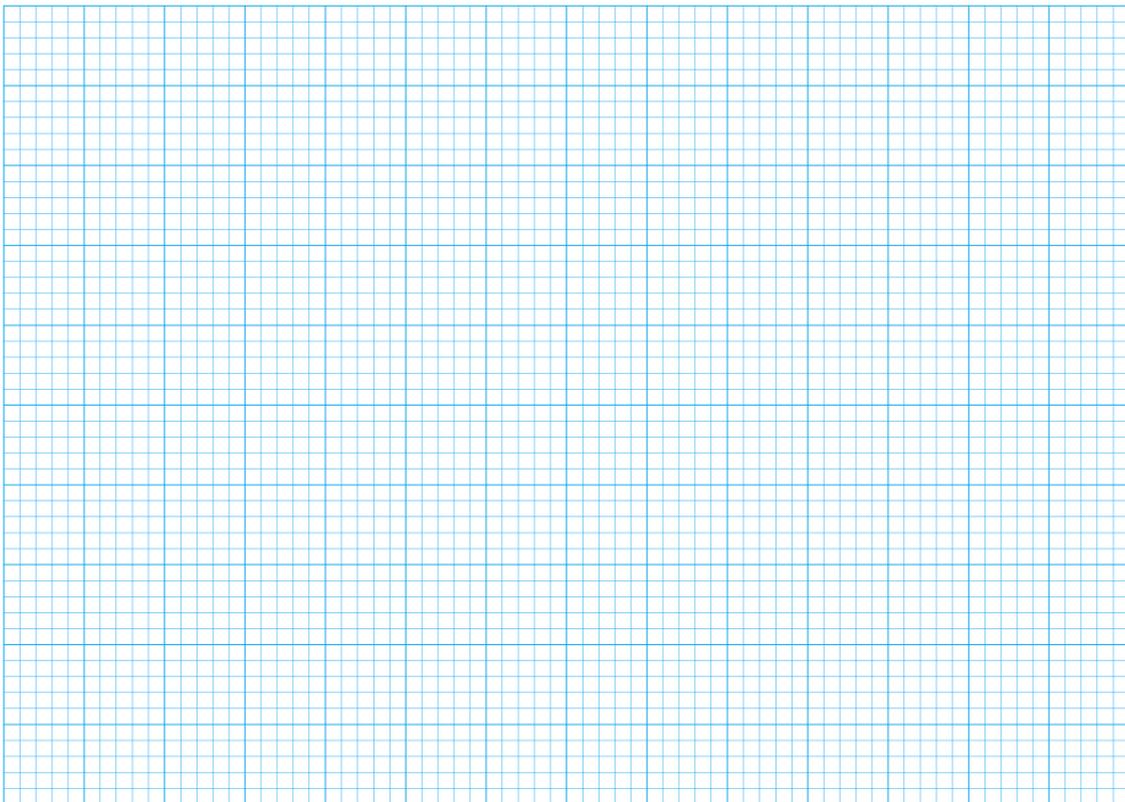
	倍率	短径 (μm)	長径 (μm)	核 (μm)
細胞①				
細胞②				
細胞③				
細胞④				
平均				

3. 班全体のデータ (平均値を記入)

場所	短径 (μm)	長径 (μm)	核 (μm)	真の平均値の範囲 (核)
1				
2				
3				
4				

【考察】

1. 細胞の内側と外側では細胞の大きさは同じか。それは、細胞の成長とどう関係があるか。
2. 細胞の大きさと核の大きさにはどんな関係があるか。



© <http://printcardbox.blogspot.com>

年 月 日 ()	年 組 番	班	氏名
-----------	-------	---	----

真の平均値の範囲を求める

□目的

何個体かの測定により得られたデータの平均値から、真の平均値の範囲を求める。真の平均値の範囲とは、次に測定した値が95%の確率でこの中に含まれることを意味する。

□t 検定の利用

2組の標本について平均に有意差があるかどうかの検定などに用いられる、統計的仮説検定の一つ。

- (1) 鱗葉は内側と外側では、細胞の大きさに有意差はあるか。また、そう考えた理由を答えよ。
- (2) 核の大きさは変わるのか。その理由も答えよ。

□方法

計算には電卓やコンピュータを用いる。

- (1) 平均値(\bar{x} = 算術平均) を求める。

$$\text{平均値 } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (x_i = \text{各測定値}, N = \text{個体数})$$

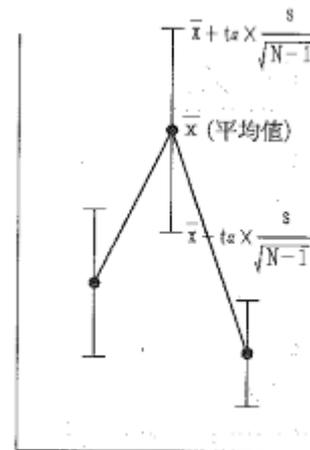
- (2) 標準偏差(s)を求める。

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - (\bar{x})^2}$$

- (3) 自由度を求める。 $n = N - 1$
- (4) 真の平均値の範囲(\tilde{x})を求める。

$$\tilde{x} = \bar{x} \pm t\alpha \times \frac{s}{\sqrt{N-1}} \quad (t\alpha \text{ は } t \text{ 分布表よりそれぞれの自由度 } n \text{ に対する値})$$

- (5) グラフに平均値の範囲を記入する。



自由度n	t値(α=0.05)
1	12.71
2	4.30
3	3.18
4	2.78
5	2.57
6	2.45
7	2.37
8	2.31
9	2.26
10	2.23

□例

マイクロメーターを用いて、タマネギの表皮細胞10個の核の直径を測定したところ、右の表のような結果になった。この結果から、平均値・標準偏差を計算し、真の平均値の範囲を求めよ。

核の直径(μm)				
36	37	42	47	41
42	37	42	31	42

- (1) 平均値

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} = \frac{36 + 37 + 42 + 47 + 41 + 42 + 37 + 42 + 31 + 42}{10} = 39.7$$

- (2) 標準偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - (\bar{x})^2} = \sqrt{\frac{36^2 + 37^2 + 42^2 + 47^2 + 41^2 + 42^2 + 37^2 + 42^2 + 31^2 + 42^2}{10} - 39.7^2} = 4.2$$

- (3) 自由度 $n = N - 1 = 9$

- (4) 真の平均値の範囲 t分布表からt値を求めると $t\alpha = 2.26$

$$\text{したがって真の平均値の範囲 } \tilde{x} = \bar{x} \pm t\alpha \times \frac{s}{\sqrt{N-1}} = 39.7 \pm 2.26 \times \frac{4.2}{3} = 39.7 \pm 3.2$$

この細胞の核の直径は95%の確率で $39.7 \pm 3.2 (\mu\text{m})$ に含まれる。

2-4 力学と数学の協働授業

以下は、まだ実施していない一連の授業の案である。今年度中に実践し、授業評価とともに報告をまとめたいと考えている。

高等学校「物理基礎」の「空気中・水中の物体の運動」という単元をとりあげる。この一連の授業では、斜面上を重力により移動する台車に帆をつけ空気抵抗を受けさせ、一定時間ごとの速度を測定することにより、 $v-t$ グラフ上に曲線を描かせる。一方、速度とその増加率の關係に着目させ、グラフを数式モデルで表現できないか考察する。そして、実際の物体の運動の様子が、数学的解析により予測できるかどうか試みたい。

単元名：空気中・水中の物体の運動 ～流体中の物体の運動と終端速度～

教材観： 空気中を落下する物体は、重力によって加速するが、速度が増すとともに加速度が小さくなる。このことから、空気からの抵抗力は速いときほど大きくなるのがわかる。また、十分に時間がたった後には落下速度が一定になる。この速度を終端速度といい、このとき重力と抵抗力はつり合っている。生徒がこの単元を学ぶことを通して、物体が空気中を動くときには、速さに依存する抵抗力や乱流・物体の密度・形状・大きさなどによって異なった運動をすることを発見し、一定のモデル化が可能なのか、また数式(関数)として一般的に環境要素の關係性を表現できるのか考えさせたい。

単元『流体中の物体の運動』の指導計画：

第1時	運動の $v-t$ グラフ(物理学的意味)
第2時	$v-t$ グラフの数学的意味
第3時	台車を用いた測定による $v-t$ グラフの作成(速度カウンタの方法, 実験)
第4時	条件を変えてその結果を予想し, 実験計画を立てる
第5時	実験を行い, 結果をもとにした数学的解析, $v-t$ グラフを実際に描く

第1時の授業は、物理学の教諭が担当し数学教諭は授業観察をする。演示実験や思考実験により、また種々のデータも参考に、流体中の物体の運動と終端速度について理解し、モデル化が行われ得ることに気付かせる。

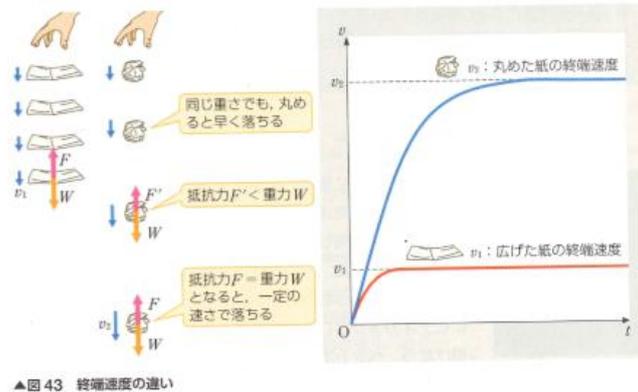
第2時の授業は、終端速度に関する $v-t$ グラフについて、漠然とした形を予想したうえで数学的な考察を行う。この授業は数学教諭が担当し物理学の教諭は授業観察をする。 $v-t$ グラフを関数と捉え、パラメータを配置し微分方程式を提案し、それを数式処理ソフト(GeoGebra)で解くことにより、陽関数の数式を導く。これはあくまで仮説であって、これから実験で検証してみることにする。

第3時は、第2時の検証実験を行うに当たって必要となる予備実験、「速度カウンタの仕方」を学ぶ。物理学の教諭が担当し数学教諭は授業観察をするが、観察だけではなく実験にも加わり、物理学の手法を体験することで、実際の実験・観察に於いて統計データ処理の手法が使われていることに注意させる。

第4時は、二人の教諭がフラットに立ちTTの方式で授業を行う。微分方程式が未来を予測する手段となり得るか、パラメーターの数値を適切に設定することでGeoGebraによる関数のグラフの形状を変化させ、実験値と予測値が適合するような実験計画を各グループに立てさせる。

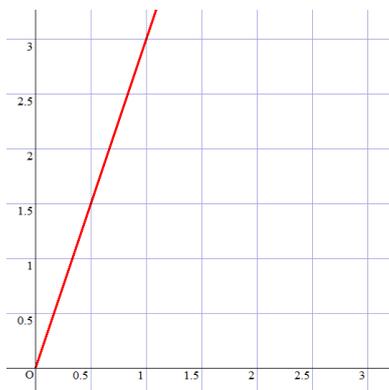


▲図42 流体中での落下
ストロボ発光間隔 0.03 秒

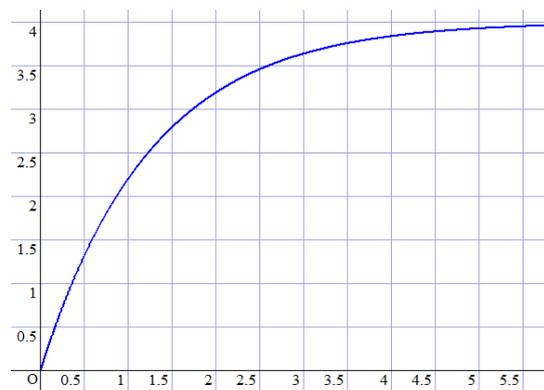


▲図43 終端速度の違い

— 高等学校「物理基礎」東京書籍 —



一次関数($v = 3t$)のグラフ



空気抵抗がある物体の $v-t$ グラフ

3. 今後の方向性・内容

「理数連携授業」の実践例として、理科と数学の融合授業案を今後も複数作成していきたい。今回提案した「力学と数学の協働授業」は、さらに予備実験を重ね、理科の教員と綿密に打ち合わせて実践していく。成果と課題についての報告を後日行いたい。物理学と数学では、他に「光の屈折」をテーマにした協働授業(光の屈折経路と到達時間の関係について)も本校公開研究会で発表している。さらにいろいろな分野で授業開発を行っていきたい。

一方、高等学校で扱われ習得されるべき学習内容には当然指導要領があり、範囲も限定されている。限られた時間の枠内で、従来の授業展開をしていくだけでもかなり窮屈なところに、このような探究授業を計画してカリキュラム化することはなかなか困難である。今回提案した一連の授業では、本来1・2時間で終わる学習内容に対して4・5時間をかけ、複数の実験を行う。種々のテーマについてこういった授業の展開方法を開発していくのは、科学的態度の本質であるし望ましいが、

授業時間数は明らかに大幅に不足してしまう。しかし、こういった授業を「総合的な学習の時間」や「課題学習」として別の時間帯に位置づけてしまうのは意図に反し、融合授業が何か特別なことと考えられてしまう。自然に通常授業に取り込むのが理想であるが、どう時間を作っていくかが大きな課題である。

本稿では生物学と数学、物理学と数学の合同開発を提案しているが、化学や地学といった、理科の他分野と数学の融合授業もいろいろな教員の組み合わせにおいてそれぞれ研究されている。今後は新指導要領の「理数探究」の時間においても数学的な思考を取り入れることによって、今までより多様な視点から自然現象を解析していく発想が育成されることを目指していきたい。

4. 考察

これら一連の授業では、従来の数学の授業ではなかなか扱えない、自然現象や現実世界に存在する問題についてじっくりと考えることができ、科学的態度が育成される。具体的な課題を用いて微分方程式をはじめとする高度な数学を学ぶ方法により、生徒の興味・関心を高めることができ、発展的な学習でもテクノロジーを活用することができるようになった。

また、理科の立場からも、課題への数学的アプローチは新鮮であると同時に実際にはいろいろな場面で使えることが体験できるとよい。理科での実験・観察はもともとグループ活動で行われることが多いが、そこでさらに数学的な考察を加える発想を持つことで、「共創力」も豊かに広がるのではないかと考えられる。将来的には、グループごとに輪番で「生徒による授業」をさせるといった形態も考えていきたい。このように他教科との連携を深めながら能動的な学習を進めていく方向性は、数学・理科だけではなく従来の科目・他教科においても有効なことに違いない。学びの場をどのように演出し高めていくか、ということについて多くのヒントを得られる授業提案であろう。

5. おわりに

2015年度公開研究会の「数理生物学」を皮切りに、本校公開研究会では一貫して「理数連携授業」を提案してきた。16年度公開研究会の「物理と数学」では前掲のとおり光の屈折を、17年度公開研究会の「化学と数学」では結晶構造をテーマに融合授業を行ったが、3年間通じてたいへん面白い授業提案ができたと感じている。共通していえることは、理科の課題をテーマに数学的なアプローチを新たな視点として加えることで考察が深まることが体験できたこと、そのことを自然現象にフィードバックさせたときに必ずしも数学だけですべてが説明され立証できるわけではなく、さらに探求する可能性がある(完結しない)ことを知ること、である。

本稿で紹介した種々の実践資料は、櫻井 昭・藤野智美・小倉真純(いずれも本校教諭)との共同研究・共作によるものであるが、全体の文責は河合にある。

筆者は、2012年度から5年生で開講されている学校設定科目「コロキウム」(学年全員を8講座に分け、従来の科目にないテーマ設定により任意の教員が受け持つ授業)で「科学哲学」の講座を持ち、15年度、18年度と3回の実践を行った。テキストはチャルマーズ(A.F.Chalmers)の名著「科学論の展開」(初版'76年、第3版'99年)を用い、科学哲学史を追いながら、「科学は絶対的・普遍的真理の言明ではないと同時に、恣意的で理論間の優劣がないわけでもない」といえる理由について、一年間を通して議論をさせながらゼミ形式で展開した(『奈良女子大学附属中等教育学校研究紀要』第57集、2019年)。これは「科学的態度」に対する根本的な(ハード面からの)アプローチであるが、「理数融合授業」は実際の課題に対してどのように解決していくか(ソフト面)の実践である。